

一般科学技术

土壤介质振动传递特性模型试验及实测研究

罗俊清¹ 邢云林^{1,2} 张良¹ 胡明祚² 申仲翰¹

(中国科学院力学研究所流固耦合系统力学重点实验室¹ 北京 100190;
北京市微振动环境控制工程技术研究中心² 北京 100142)

摘要 设计了一个土壤介质振动传递试验模型,测量得到了振动加速度响应随距离、激励力大小以及激励频率的变化规律。试验结果表明,响应随距离的增大而减小,随激励力的增大而增大,随激励频率的增大而增大。同时对北京地铁十三号线太阳园段进行振动测量,实际测量结果与模型实验测量结果对比分析表明,土壤介质振动传递试验模型可以很好的反应轨道交通振动的传递特性。

关键词 土壤介质 模型试验 振动 传递特性 轨道交通

中图分类号 TB533.2; **文献标志码** B

近年来,随着城市的不断发展,城市的轨道交通得到了快速的发展,在带给人们方便的同时,也产生了不少环境振动问题。轨道交通引起的振动影响人们的工作、生活,造成建筑物的破坏^[1],影响精密仪器^[2]的使用等。对于轨道交通的振动问题,世界各国都作了大量研究工作,目前主要的研究方法有理论解析、现场试验以及数值计算^[3]。1904年 Lamb^[4]对振源和土介质中压缩波、剪切波和表面波的传播特性进行研究,推导了解析解的积分表达式,此后,许多学者对这一问题进行研究并得到一系列成果。另外随着社会的发展,对移动荷载下的振动响应问题得到人们的重视与研究。1991年 Hunt^[5]利用随机振动方法建立了铁路引起的地面振动模型,得到了各向同性半空间频率响应函数,国内学者也对轨道环境振动问题进行了理论上的研究。在城市轨道交通试验上,国内外学者也做了不少工作。2011年王福彤等^[6]在北京城铁13号线进行了现场测试,考察了轨道周边自由地表垂向的振动传播特性。2012年王文斌等^[7]利用脉冲激励进行地铁环境振动响应传递函数预测方法研究。2013年刘卫丰等^[2]测试地铁列车及公交车产生的振动对科研楼内精密设备的影响等。1984年廖振鹏提出了近场波动问题的有限元解法^[8],朱志辉等^[9]利用有限元分析的方法研究了车-桥振动对周围环境及建筑物的影响。针对目前轨道交通试验方面主要是现场

实测的情况,提出了振动在土介质中传递实验模型,研究振动在土壤介质中的传递特性。并进行现场测试实验,将模型实验结果与现场实验结果相比较,以改变模型实验方法,使之更加准确反应振动在土壤中的传递特性。相较于现场测试,本文提出的试验模型具有激励可控、重复性好、受外界干扰小等优势。模型实验为深入研究土壤中振动传递特性提供了方便,可以为深入开展城市微振动环境分析提供基础资料。

1 试验模型

试验模型由土槽、激振器、控制及采集系统组成,如图1、图2所示。试验中使用的土槽长200 cm,宽20 cm,高30 cm,试验土层厚度20 cm。将具有一定湿度的土壤加入土槽并夯实,在土层完全干燥后,土层与土槽边壁有一定的间隙,可以减小土槽边壁对实验的影响。加速度测量点均匀分布在土层上,激励点与测量点与土槽两端保持一定距离,以减小边界效应对结果的影响。实验中,通过信号发生器产生一定频率的正弦信号,力传感器测试激励大小,以调整激励大小,通过加速度传感器测量土槽里各点的响应。该试验模型可以选择多种信号加载方式,精确控制加载力的大小以及激励力的频率。

通过试验,测量得到激励频率为30 Hz时,加速度响应有效值随激励力大小的变化关系曲线如图3所示;得到激励力有效值为40 N时,加速度响应与激励力频率的关系曲线如图4所示。图3表明,激励力频率一定时,振动响应随激励力的增大而增大;图4表明激励力有效值一定时,振动响应随激励频

2014年6月3日收到

第一作者简介:罗俊清,男,硕士研究生。研究方向:工程力学。E-mail: luojunqing@163.com。

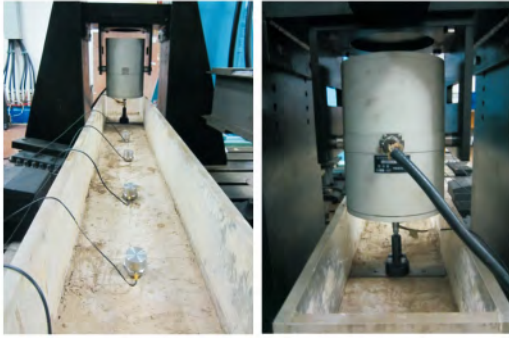


图 1 土槽及激振器照片

Fig. 1 The picture of soil bin and vibrator



图 2 激励控制与采集分析系统照片

Fig. 2 The picture of excitation system and collection system

率的增大而增大,且增大速度越来越大。

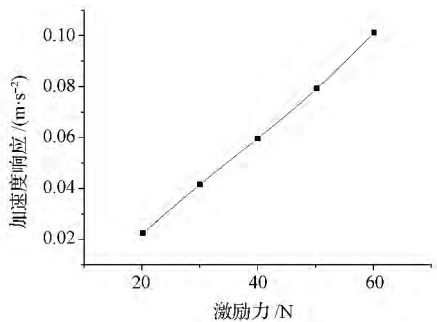


图 3 加速度响应与激励力关系曲线

Fig. 3 The relationship between acceleration response and exciting force

2 实测实验

为了验证设计的土壤介质振动传递试验模型的可行性,对北京地铁 13 号线太阳园段进行振动测量。测试现场及测量点的布置如图 5 所示。我们设置了三个测点,在每个测点处测量其 x 、 y 、 z 方向的速度。实验中使用 DLS 型高精度拾振器, INV3060—24 高精度多通道信号采集仪,以无线 WIFI 方式进行采集,以实现三测量点的高速采集同

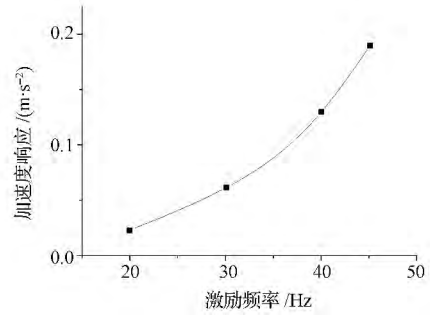


图 4 加速度响应与激励频率关系曲线

Fig. 4 The relationship between acceleration response and exciting frequency

时无线传输,数据传到操作人员的 PC 中。实验时,限制行人靠近测点附近,以保证测量结果不受干扰。



图 5 测试现场与测点布置

Fig. 5 The picture of test field

实验时,采用连续测量方式,记录一段时间内各个测点的振动响应。图 6 给出半个小时内三个测点 x 、 y 、 z 三个方向的速度响应时域曲线。从图 6 中可以看出,在这段时间内,振动响应有 16 次增大,说明期间共有 16 次列车经过。在无列车经过时,速度响应有效值较小,而列车经过时,响应显著增大,说明列车经过产生的振动对测点处的振动具有较大的影响。

为研究某次列车经过时振动响应的特征,对 500 ~ 510 s 时的振动进行分析,图 7 所示为 9 个速度响应幅频曲线。从图 7 中可以看出,测点每个方向的振动都有一个比较明显的主频率,该频率的振动对环境的影响是最明显的。

3 结果分析

模型试验测量得到加速度响应有效值随距离的变化关系曲线如图 8、图 9 所示,图 8 所示为激励频率 30 Hz 时,各激励力下,响应随距离的变化关系曲线,图 9 所示激励力有效值为 40 N 时,各频率下响应随距离的变化关系曲线。图 9、图 10 结果表明,

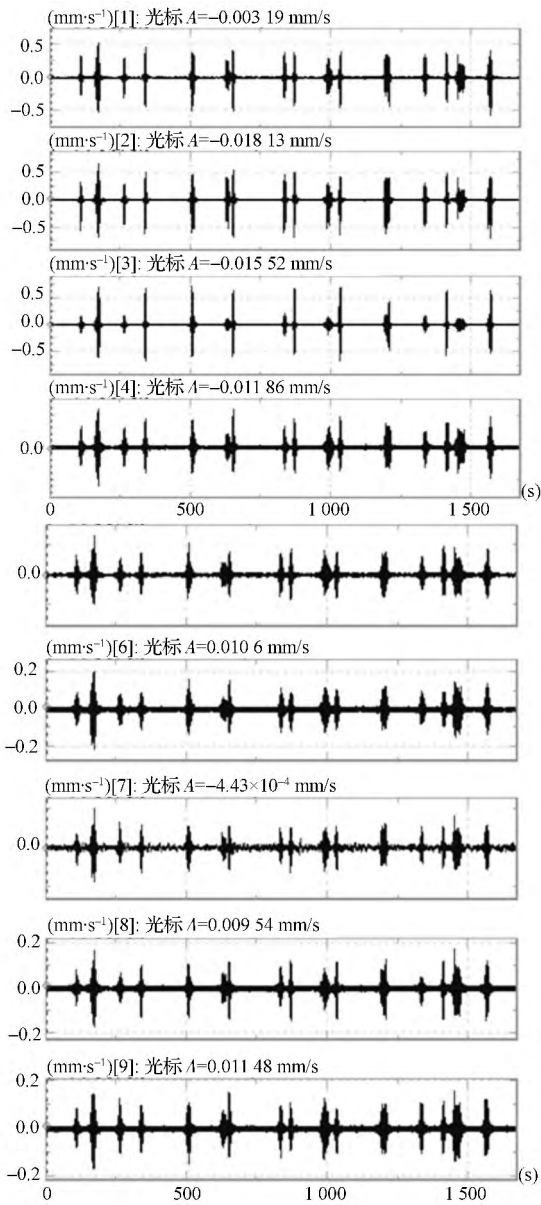


图 6 实测响应时域曲线

Fig. 6 The measured time-domain response curves

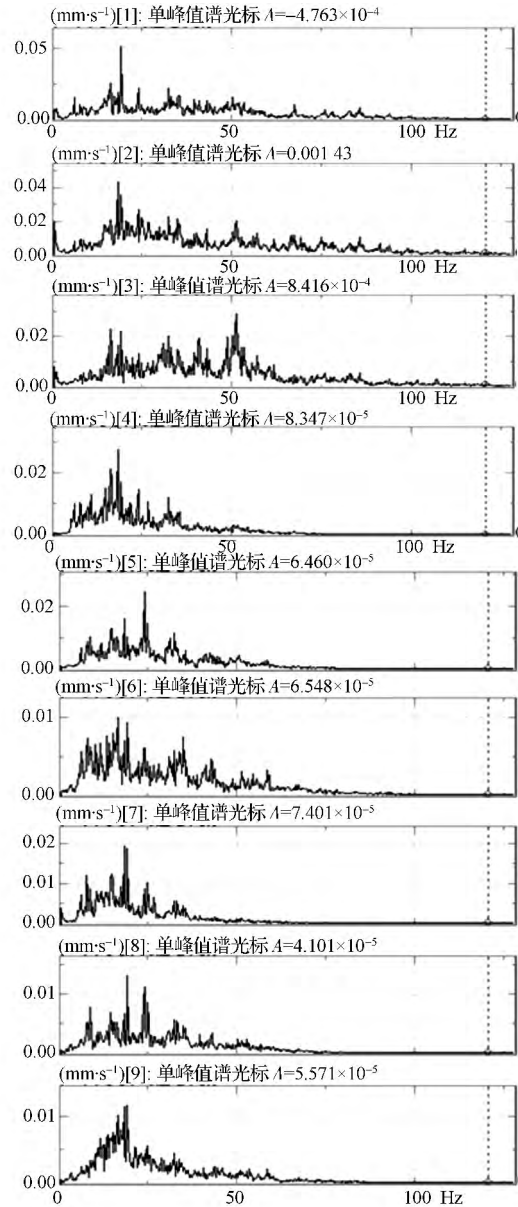


图 7 实测响应频谱曲线

Fig. 7 The spectrum curves of measured responses

在模型试验中振动响应随距离的增大逐渐减小,在一定的位置与频率下,振动响应也会有局部增大的情况。

地铁 13 号线太阳园段列车经过时测量得到的响应有效值随距离的变化关系曲线如图 10、图 11 所示。图 10 所示为 13 号线地铁列车经过时响应有效值随距离的变化关系曲线,图 11 所示为京包线列车经过时响应随距离的变化关系曲线。从图中可以看出,测点各个方向的响应随距离的增大而减小。

通过图 8、图 9 与图 10、图 11 的对比分析,可以看出,模型试验得到的振动传递规律与实际测量的振动传递规律一致,表明模型试验可以很好的反应实际的振动传递规律。

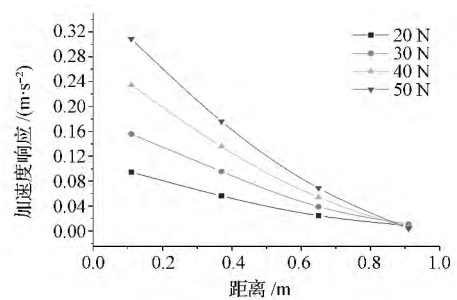


图 8 不同激励力下加速度响应随距离变化曲线

Fig. 8 The relationship between acceleration response and distance under multiple exciting force

本文设计的土壤介质振动传递试验模型,可以精确的控制激励的频率、激励力的大小以及激励的

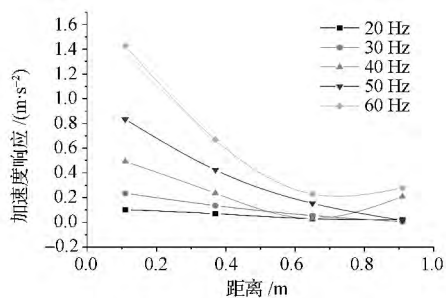


图9 不同频率下加速度响应随距离变化曲线

Fig. 9 The relationship between acceleration response and distance under multiple exciting frequencies

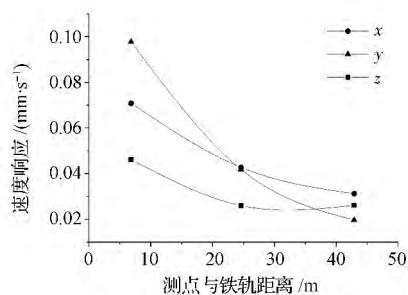


图10 13号线列车响应与测点距离的关系曲线

Fig. 10 The relationship between the response and the distance of the metro line 13

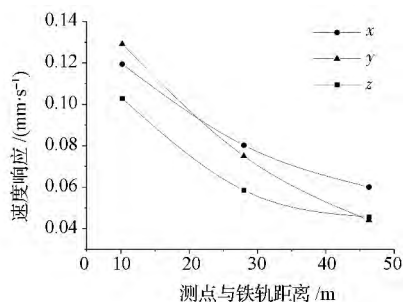


图11 京包线列车响应与测点距离的关系曲线

Fig. 11 The relationship between the responses and distance of the train line Jing-Bao

加载形式。可以方便准确的模拟实际振动中主频率下的振动的传递规律,对于防振、减振工作具有重要指导意义。

4 结论

(1) 通过土介质振动传递特性模型试验,可知,振动响应随距离的增大而减小。激励力一定时,高频振动随距离衰减快,且在个别频率下,会有振动变大的趋势。

(2) 通过对轨道交通振动进行实际测量,可知,

振动响应随距离的增大而减小;且主频率下的振动响应较大。

(3) 通过土壤介质振动传递模型所进行的振动传递试验与轨道交通振动试验所得到的结果进行对比,二者的振动传递规律是一致的,土壤介质振动传递试验模型对土壤振动传递特性进行研究是可行的,并且具有便于控制、重复性好、成本较低等优点。

参考文献

- 夏禾,曹艳梅. 轨道交通引起的环境振动问题. 铁道科学与工程学报, 2004; 1(1): 44—51
Xia He, Cao Yanmei. Problem of railway traffic induced vibrations of environments. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2004; 1(1): 44—51
- 刘卫丰,刘维宁,聂志理. 地铁列车运行引起的振动对精密仪器影响的预测研究. 振动与冲击, 2013; 32(8): 18—23
Liu Weifeng, Liu Weining, Ni Zhili. Prediction of effects of vibration induced by running metro trains on sensitive instruments. *Journal of Vibration and Shock*, 2013; 32(8): 18—23
- 王文斌,刘维宁,孙宁. 隧道内脉冲激励下地层振动传递特性研究. 振动与冲击, 2013; 32(8): 162—165
Wang Wenbin, Liu Weining, Sun Ning. Stratum vibration transfer characteristic under pulse excitation inside a tunnel. *Journal of Vibration and Shock*, 2013; 32(8): 162—165
- Lamb H. On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 1904: 1—42
- Hunt H. Stochastic modeling of traffic-induced ground vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 1991; 144(1): 53—70
- 王福彤,陶夏新,崔高航. 地面城轨交通近轨道区域自由地表振动实测研究. 振动与冲击, 2011; 30(5): 131—135
Wang Futong, Tao Xiaxin, Cui Gaohang. Test in situ for free ground vibration near urban railway line. *Journal of Sound and Vibration*, 2011; 30(5): 131—135
- 王文斌. 基于脉冲实验的地铁环境振动响应传递函数预测方法研究. 北京: 北京交通大学, 2011
Wang Wenbin. Study on metro train-induced environmental vibration and transfer function prediction based on pulse experiment method. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011
- 廖振鹏. 近场波动问题的有限元解法. 地震工程与工程振动, 1984; 4(2): 1—14
Liao Zhenpeng. A finite element Method for near-field wave motion in heterogeneous materials. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 1984; 4(2): 1—14
- 朱志辉,余志武,朱玉龙. 车桥振动诱发周围环境及建筑物振动的分析. 铁道学报, 2013; 35(4): 102—109
Zhu Zhihui, Yu Zhiwu, Zhu Yulong. Analysis on environment and building vibration induced by passing trains on bridge structures. *Journal of the China Railway Society*, 2013; 35(4): 102—109

(下转第127页)

Characteristic of Fractured Basement Reservoir in Marib-Shabawa ,Yemen

XU Xiu-cang

(Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation ,Beijing 100029 ,P. R. China)

[Abstract] Marib-Shabwah passive rift basin is formed during the Arabian plate breakup from Gondwana super-continent by shearing stress. The main targets were Alif sand stone (lower source and upper reservoir) , Lam (source and reservoir the same in Lam) and Qishn ,Shuqra (upper source and lower reservoir) before 2004; The basement reservoirs were great breakthrough in Block 3\4\7\10\14\43\51\S1\S2 ,more than 1 200 m high hydro-carbon formation and one trillion bbl proved reserves were discovered in fractured basement reservoir. Basement and Kohlan reservoir , Shuqra shale with micritic mudstones seal is main hydrocarbon system. fractured basement is becoming more important reservoir. This paper summarized the Characteristic of fractured basement reservoir in Marib-Shabawa , Yemen with the exploration and production actual activity materials.

[Key words] Marib-Shabwah Rift Basin reservoir forming model basement fractured reservoir

(上接第 122 页)

Soil Media Vibration Transfer Characteristics Model Test and the Field Experiment

LUO Jun-qing¹ , XING Yun-lin^{1 2} , ZHANG Liang¹ , HU Ming-yi² , SHEN Zhong-han¹

(Institute of Mechanics , Chinese Academy of Sciences¹ , Beijing 100190 , P. R. China;

Beijing Micro-Vibration control Engineering Research Center² , Beijing 100142 , P. R. China)

[Abstract] A test model is presented to simulate the train-induced ground-surface vibrations. The relationships between the dynamic response and the distance , exciting force and excitation frequency are analyzed. The results show that the responses decreases with increasing of the distance , but increases with the increase of exciting force and excitation frequency. As the same time we carried out vibration test along the Beijing metro line 13 and we acquired the regulation of the transfer characteristics. In addition the results show that the test model designed could well simulated the railway vibration.

[Key words] soil media model test vibration transfer characteristics railway